

## 다른 시간 단위에서 백로류 개체군 변동과 그 결정 요인

남형규·김명현·권순익·어진우·송영주<sup>†</sup>

농촌진흥청 국립농업과학원

### Factors influencing population dynamics of herons in rice paddy at different time scales

Hyung-Kyu Nam·Myung-Hyun Kim·Soon-Ik Kwon·Jinu Eo·Young-Ju Song<sup>†</sup>

National Institute of Agricultural Sciences

(Received : 24 July 2018, Revised: 29 August 2018, Accepted: 29 August 2018)

#### 요약

생태계 내에서 개체군 변동을 이해하는데 다양한 시간 스케일에서의 분석이 유용한 방법이 될 수 있다. 최근까지 다양한 시간 스케일에서의 개체군 변동에 대한 연구는 거의 드물다. 본 연구는 2014년부터 2017년까지 4년간 충남 당진시 석문면 논에 도래하는 백로류 개체군을 대상으로 시간 스케일에 따른 이들 개체군 변동에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위해 수행되었다. 백로류는 황로, 왜가리, 중대백로, 중백로, 쇠백로만을 대상으로 하였으며, 고정된 지점에 설치된 무인모니터링 시스템을 활용하여 백로류의 개체군 변동을 다른 시간 단위의 스케일인 월 단위와 일 단위 변동으로 나누어 확인하였다. 그 결과, 월별 개체군 변동에 영향을 미치는 요인은 시기, 평균 온도, 평균 강수량으로 나타났고, 일별 개체군 변동에 영향을 미치는 요인은 평균 온도와 서식지 유형이 중요한 것으로 확인되었다. 시기의 통계적 유의성이 일 단위에서는 나타나지 않고 월 단위에서 확인된 이유는 백로류의 논 이용 패턴이 일 단위보다는 월 단위 스케일에서 명확히 구별되기 때문으로 판단된다. 이를 통해 시간 스케일에 따라 백로류에 영향을 미치는 요인에 차이가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

핵심용어 : 기후인자, 백로류, 개체군 변동, 논습지

#### Abstract

Multiple temporal scale can be a useful method to understand population dynamics in ecosystem. The multi-temporal scale approach for population dynamics has rarely been researched till lately. This study was carried out to identify the factors in affecting the population dynamics of herons, including Eastern Cattle Egret (*Bubulcus coromadus*), Grey Heron (*Ardea cinerea*), Great Egret (*A. alba*), Intermediate Egret (*Egretta intermedia*) and Little Egret (*E. garzetta*), at rice paddy fields of Seokmun-myeon in the city of Dangjin, South Chungcheong Province during the main breeding periods from 2014 to 2017. We identified the population dynamics of herons at different time interval (day and month) using the unmanned monitoring system. As a result, monthly population dynamics was mostly affected by time, mean temperature and mean precipitation, whereas daily population dynamics was affected by mean temperature and habitat types. The results suggest that there are differences in the factors affecting the population dynamics of herons according to the time scale.

Key words : Climate factors, Herons, Population dynamics, Rice paddy

## 1. 서론

동물의 개체군 변동에 대한 이해는 생태학에서 중요한 주제 중 하나이며, 특히 조류 종을 대상으로 많은 연구가 수행됐다(Perrins et al., 1993; Newton, 1998). 조류의 개체군 변동은 밀도 의존요인, 환경의 급변, 경쟁과 같은 자연적 요인으로 인해 조류 개체군 변동에 영향을 받거나(Bethke and

Nudds 1995; Lande et al., 2003; Viljugrein et al., 2005), 토지 변경, 수렵 등과 같은 인간에 의한 인위적인 요인에 의해 직접 또는 간접적으로 영향을 받는다(McCulloch et al., 1992; Tucker and Heath, 1994). 조류 개체군 변동에 영향을 끼치는 다양한 요인들은 궁극적으로 조류의 생활사까지 영향을 미친다(Lack, 1968).

생태계 교란은 생태학적 시스템의 공간적 구조와 시간적 특성에 크게 영향을 미친다(Pickett and White, 1985). 특히 다양한 생물 서식지인 자연습지 생태계에서도 여러 교란으로 인해 생물의 다양성 감소와 개체군 변동의 변화를 겪는다(Madsen, 1998; Bechet et al., 2004; Rehage and

<sup>†</sup> To whom correspondence should be addressed.  
National Institute of Agricultural Sciences  
E-mail: syj8109@korea.kr

Trexler, 2006). 인간의 지속적인 압박에 의해 점차 사라지는 자연습지의 생물다양성 보전을 위해 대체 서식지가 조성되고 있다(Turner et al., 2000; Froneman et al., 2001; Kennish, 2001; Tourenq et al., 2001).

논은 급격히 감소한 자연습지를 대신하는 대표적인 야생동물의 대체 서식지로서 관심을 받고 있는 공간이며(Elphick and Oring, 2003; Lourenço and Piersma, 2008), 일부 지역의 논은 멸종위기종과 같이 보전이 필요한 종에게 필수 서식지이기도 하다(Shuford et al., 2001; Sánchez-Guzmán et al., 2007). 논은 계절에 따라 다양한 수조류에게 중요 서식지를 제공하며(Fasola and Ruiz, 1997; Eadie et al., 2008), 특히 백로류는 여름철 번식과 관련하여 논을 집약적으로 이용하는 것으로 잘 알려져 있다(Fasola and Ruiz, 1996). 또한 논은 단일 작물 재배, 얕은 수심 유지, 규칙적인 경작활동으로 인하여 자연습지에 비해 구조가 단순하여 기초 생태학 연구에 적합하다(Fujioka and Yoshida, 2001; Elphick, 2010). 따라서 백로류의 개체군 변동에 영향을 끼치는 요인을 확인하기 위해서는 논에 도래하는 백로류를 대상으로 연구하는 것이 유리할 것이다.

환경적 변동은 다양한 요인에 의해 결정되고, 요인들은 시간 스케일과 밀접하게 관련된다(Halley, 1996). 시간 스케일에 따라 생태학적 현상의 설명이 달라질 수 있으며, 현상에 미치는 요인의 효과나 중요성이 다르게 나타날 수 있다(Urban et al., 1987). 그러므로 다양한 시간 스케일에서의 연구를 통해 연구 대상의 생태학적인 특성이 어떻게 나타나는지 이해할 필요가 있다(Odum and Barrett, 2005). 즉, 다양한 시간 스케일에서 논에 도래하는 백로류 개체군 동태에 대해 분석하여 의미를 파악하는 것은 논을 이용하는 백로류의 개체군 동태에 대한 이해의 폭을 더욱 넓힐 수 있다.

본 연구는 논에 도래하는 백로류의 개체군 변동에 영향을 끼치는 요인을 파악하기 위해 수행하였다. 백로류의 개체군 변동은 일 단위와 월 단위 수준으로 나누어 개체군 변동에 영향을 끼치는 요인을 확인하였고, 요인은 시기, 기상인자, 논 물리적 구조(서식지 유형)로 나누어 확인하였다. 이를 통해 논에 도래하는 백로류의 개체군 변동이 서로 다른 시간 스케일에 따른 특성을 이해하고자 한다.

## 2. 재료 및 방법

본 연구는 2014년 1월 1일부터 2017년 12월 31일까지 4년간 충청남도 당진시 석문면 논(36° 02'N, 126° 29'E)에 도래하는 백로류의 개체군 변동에 영향을 미치는 요인을 다른 시간 스케일(월 단위, 일 단위)에서 차이가 있는지 확인하기 위해 수행하였다. 시간 스케일에 따른 백로류 개체군 변동에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위해 고정된 지점에서 연속적인 백로류 개체군 변동을 확인할 수 있는 무인모니터링 시스템을 활용하였다. 총 3대의 무인모니터링 시스템을 설치하였으며, 그 중 전체적으로 조류 개체수가 연속적으로 가장 많이 관찰되는 지점의 무인모니터링 시스

템을 최종 선택하여 분석에 이용하였다. 무인모니터링 시스템은 오전 6시부터 오후 7시 50분까지 10분 단위로 작동하여 논에 출현하는 조류를 자동으로 촬영하였다. 촬영된 사진 자료는 잘못 동정되는 것을 최소화하기 위해 사진 상에서 명확히 확인되는 백로류 만을 동정하고 개체수를 확인하였다(Maeda, 2001). 백로류는 황로(*Bubulcus coromandus*), 왜가리(*Ardea cinerea*), 중대백로(*A. alba*), 중백로(*Egretta intermedia*), 쇠백로(*E. garzetta*)만을 포함하였다.

백로류의 개체군 변동에 영향을 줄 수 있는 잠재적인 요인은 시간 스케일(일, 월 단위)로 나누어 확인하였다. 개체군 변동에 영향을 끼치는 요인은 시기와 기상인자를 중심으로 확인하였으며, 일 단위 스케일에서는 개체군 변동에 영향을 주는 요인에는 서식지 유형을 추가하여 확인하였다. 시기는 백로류의 주요 번식기인 4월부터 8월까지 자료를 활용하였다. 기상인자는 평균기온, 최저기온, 최고기온, 풍속, 습도, 강수량과 같이 6개로 나누어 확인하였다. 기상인자는 무인모니터링 시스템에 인접한 지점(약 5 m)에서 측정하였다. 관측 장비는 미국의 Spectrum Technology 회사의 Watch Dog Model 2900ET를 사용하였고, 무인모니터링 시스템과 같은 시간 단위인 10분단위로 자동 측정하였다. 서식지 유형은 백로류 동정 시 토양상태와 벼 성장에 따라 확인되는 논 형태를 7가지로 확인하였다. 4월부터 8월까지 확인된 서식지 유형은 (1) 수확 후 그루터기 논 (2) 갈아엎은 논, (3) 물 댄 논, (4) 썩어질한 논, (5) 모내기한 논, (6) 낮은 벼 밀도의 논(벼 피복도가 50% 이하인 논), (7) 높은 벼 밀도의 논(벼 피복도가 50% 이상인 논)이었다.

시기, 기상인자, 서식지 유형 중에 백로류 개체군 변동에 영향을 미치는 요인을 확인하기 위해 일반화선형모형(Generalized linear model: GLM)을 적용하여 분석하였다. 백로류 개체수는 월 단위 평균과 일 단위 평균 자료를 각각의 반응변수(response variable)로 설정하였다. 평균 개체수는 10분 단위 관찰 개체수의 일 또는 월 단위로 평균한 것으로 정의하였다. 일 평균 자료는 자료 간 수치 차이가 커서 로그로 치환하여 분석하였다. 시기, 서식지 유형, 기상인자 모두 설명변수(explanatory variable)로 지정하였다. 기상인자의 경우 반응 변수에 맞게 일 단위 스케일 또는 월 단위 스케일로 평균하였다. 또한 기상인자들 간의 다중공선성(multicollinearity)에 의한 오류를 제거하기 위해 분산팽창계수(Variance inflation factor: VIF)를 이용하여 다중공선성이 의심되는 인자를 제거하였다.  $\sqrt{VIF}$ 가 2보다 작은 경우 다중공선성이 없는 것으로 가정하였다(Fox, 1991). 최종적으로 기상인자는 평균온도, 평균습도, 최대풍속을 분석에 이용하였다. 모든 분석은 R 프로그램을 활용하였다(R Development Core Team, 2017).

## 3. 결과 및 고찰

논에 도래하는 백로류의 월별 개체군 변동을 살펴보면, 가장 많은 평균 개체수가 확인된 월은 2014년과 2015년은

8월, 2016년과 2017년은 7월이었고 가장 적은 평균 개체수가 확인된 월은 2014년, 2016년, 2017년은 4월이었고, 2015년은 6월이었다(Fig. 1). 월별 개체군 변동에서는 가장 많은 평균 개체수가 기록된 날은 2014년은 8월 2일, 2015년은 8월 9일, 2016년은 7월 11일과 8월 6일, 2017년은 7월 21일이었다(Fig. 1). 월별 및 일별 개체군 변동 모두 4월에서 8월로 갈수록 증가하는 경향을 보였다.

논에 도래하는 백로류 개체군 변동에 영향을 미치는 요인은 시간 스케일에 따라 차이가 있었다. 월별 개체군 변동에 영향을 미치는 요인은 시기, 평균 온도, 평균 강수량이었고, 일별 개체군 변동에 영향을 미치는 요인은 평균 온도와 서식지 유형이었다(Table 1).

시기의 통계적 유의성이 일 단위에서는 나타나지 않고 월 단위에서 확인된 이유는 백로류의 논 이용 패턴이 일 단위 보다는 월 단위 스케일에서 명확히 구별되기 때문으로 판단된다(NIER, 2012). 백로류의 주요 번식기인 4월부터 8

월까지 월 별 논에 도래하는 백로류 개체군은 지속적으로 증가하는 경향을 보인다(Fig. 1). 백로류가 논을 이용하는 시기는 4월부터 10월까지로 잘 알려져 있다(Choi et al., 2010). 특히 4월부터 8월까지 백로류의 번식으로 인해 유조의 먹이요구량이 최대에 달하는 시기이기 때문에 백로류의 논 이용이 증가한다(Nam et al., 2012). 이러한 백로류의 번식기간동안 생활사적 특성은 월 단위 스케일에서 뚜렷이 구별되는 것으로 판단된다. 일 단위 스케일에서는 시기의 단일 요인뿐만 아니라 시기와 평균온도, 시기와 서식지 유형과 같은 복합요인도 백로류 개체군 변동에 영향을 미치지 않았다(Time × Mean temperature,  $df = 1, F = 0.238, P = 0.626$ ; Time × Habitat type,  $df = 1, F = 0.238, P = 0.626$ ; Table 1). 이를 통해 본 연구지역 논에 도래하는 백로류의 일 단위 시간 스케일에서는 백로류 개체군의 일일 변동은 뚜렷한 패턴이나 특성이 없음을 알 수 있다.

Table 1. Generalized linear model for effect of time, meteorological factors (mean temperature, mean humidity, mean wind speed, mean precipitation, and daylight hour) and habitat type (plowed field, flooded field, rice-transplanting, low rice density, high rice density) on heron's abundance between different time scales. Significant results at probability < 0.05 are marked in bold

Time scale	Variable	df	F	P
Month	time	1	4.705	< 0.05
	Mean temperature (°C)	1	146.646	< 0.0001
	Mean humidity (%)	1	3.210	0.073
	Mean wind velocity (m/s)	1	0.562	0.454
	Mean Precipitation (mm)	1	5.496	< 0.05
	time × Mean temperature	1	2.463	0.117
	time × Mean Precipitation	1	0.175	0.675
Day	time	1	0.005	0.943
	Mean temperature (°C)	1	19.838	< 0.0001
	Mean humidity (%)	1	1.420	0.233
	Mean wind velocity (m/s)	1	2.439	0.118
	Mean Precipitation (mm)	1	0.080	0.777
	Habitat type	5	2.607	< 0.05
	time × Mean temperature	1	0.238	0.626
	time × Habitat type	5	0.201	0.962
	Habitat type × Mean temperature	5	0.201	0.962

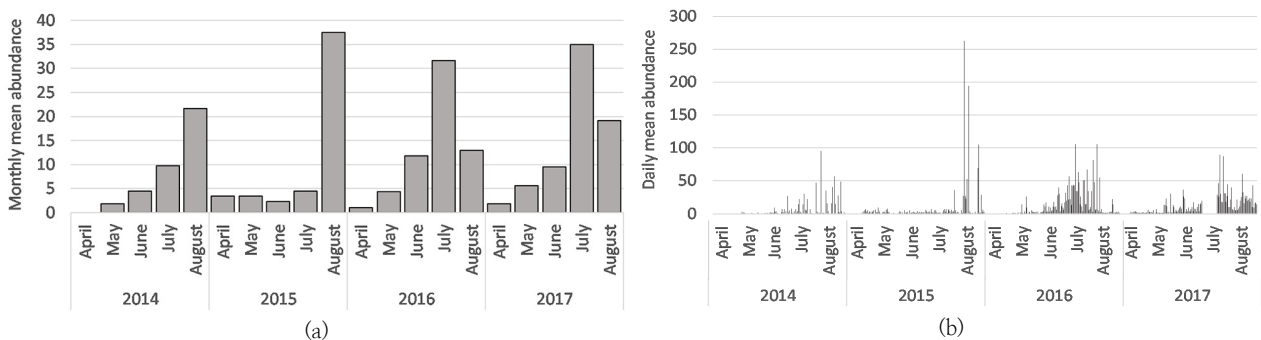


Fig. 1. Population dynamics of herons at different time scales during breeding periods in rice paddy. The different time scales show at (a) monthly and (b) daily time intervals.

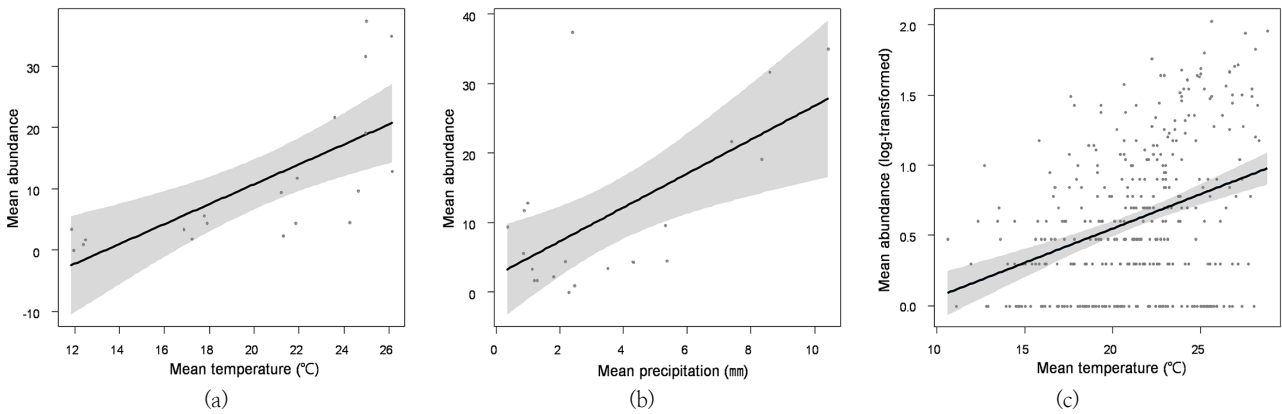


Fig. 2. Effects of meteorological factors on the heron abundance at different time scales. (a–b) and (c) show that modelled relationships between meteorological factors and heron abundance at monthly and daily time scale, respectively. Black lines show the mean predicted probability of abundance. The grey-shaded area shows the 95% confidence interval and points are partial residuals.

백로류 개체군 변동에 영향을 미치는 기상요인 역시 시간 스케일에 따라 다르게 나타났다(Table 1). 평균 온도는 월 단위 시간 스케일과 일 단위 시간 스케일에서 공통적으로 중요한 요인으로 확인되지만, 월 단위 스케일에서는 평균 강수량이 백로류 개체군 변동에 추가적으로 영향을 끼치는 것으로 확인된다(Table 1). 월 단위 시간 스케일에서 백로류 개체군 변동에 영향을 미치는 평균 온도와 강수량이 증가할수록 개체군 크기가 커지는 경향을 보였고, 일 단위 시간 스케일에서 역시 평균 온도가 증가할수록 개체군 크기가 증가하는 경향을 보였다(Fig. 2).

일 단위 시간 스케일에서의 개체군 변동에 영향을 미치는 요인은 하루에 발생하는 개체군의 변화에 영향을 끼치는 것을 의미하기 때문에 월 단위 시간 스케일에서의 개체군 변동에 영향을 끼치는 요인에 비해 개체군 변동에 직접적으로 영향을 끼친다. 따라서 일 단위 시간 스케일에서 평균 온도가 백로류 개체군 변동에 끼친 원인은 직접적인 먹이 획득과 관련 있을 것으로 판단된다. 일평균 온도가 높은 날에는 저서생물과 지상부 곤충들의 활동성이 증가하여 백로류가 먹이를 발견하고 획득할 가능성이 높기 때문에 백로류의 출현이 많아지는 것으로 판단된다(Pienkowski, 1983).

월 단위 시간 스케일에서 개체군 변동에 영향을 미치는 요인인 평균 온도와 평균 강수량은 백로류의 먹이원으로 이용되는 저서생물이나 지상부곤충의 풍부도를 전반적으로 증가시켜 월 별 도래 백로류 개체군 역시 증가하는 것으로 판단된다. 눈에 서식하는 저서무척추동물 군집은 온도에 영향을 받아 높은 온도에서는 생육기간을 줄여 단기간에 많은 수가 발생하기도 한다(Kim et al., 2012). 또한 눈에 물의 유입은 수생태계를 형성하여 생물의 서식지로서 중요한 인자로 작용하기 때문에 생물다양성을 급격히 증가시키며 (Fasola and Ruiz, 1996; Bambaradeniya et al., 2004), 특히 강우는 눈에 물의 유입을 증가시켜 수생태계 형성을 촉진시켜주거나 눈의 건담화로 발생하는 생물다양성 감소에 대한 완충 작용을 한다(Day and Colwell, 1998). 따라서

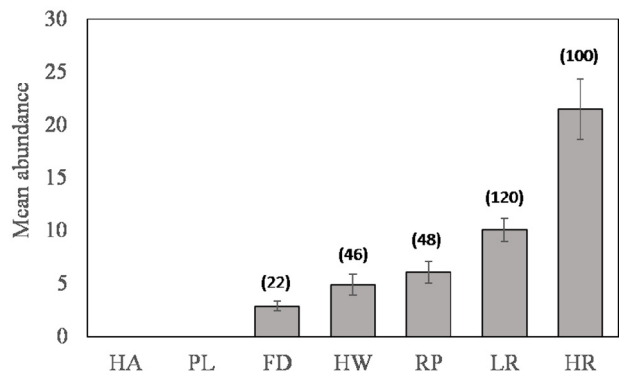


Fig. 3. Mean abundance of herons using unmanned monitoring system among the habitat types from April to August in 2014–17 at daily scale in rice fields. Habitat type: harvested field (HA), plowed field (PL), flooded field (FD), harrowed field (HW), rice-plantation (RP), low rice density (LR) and high rice density (HR). Sample size are given above bar graph.

기상요인인 온도와 강수량은 월 단위 시간 스케일에서 조류의 먹이원으로 이용되는 저서생물의 풍부도를 전반적으로 증가시키는 요인으로 작용할 것으로 판단된다. 또한 백로류는 포란기, 옥추 전반, 후반으로 번식 단계가 진행될수록 유조의 먹이요구량이 증가하기 때문에 백로류의 눈 이용이 증가하는 것으로 판단된다(Choi et al., 2014). 결국 백로류 유조의 먹이요구량과 온도와 강수량에 의한 저서생물이나 지상부 곤충의 풍부도의 증가가 복합적으로 작용하여 백로류가 시간이 지날수록 증가하는 것으로 판단된다.

일 단위 시간 스케일에서는 서식지 형태도 백로류 개체군 변동에 영향을 미치는 요인으로 확인된다(Table 1). 백로류가 눈에 도래하는 시기인 4월부터 8월까지의 물 댄 눈, 썩레질한 눈, 모내기한 눈, 낮은 벼 밀도의 눈, 높은 벼 밀도의 눈과 같은 담수 눈에 주요 섭식장소로 도래하였고 수확 후 그루터기 눈이나 갈아엎은 눈과 같은 건논에는 도래하지 않았다(Fig. 3). 눈은 담수 형태와 건담 형태가 주기적으로 반복되며, 벼 재배를 위해 담수형태의 눈이 형성되면 백로류의 도래 개체수가 급격히 늘어나는 것으로 잘 알려져

있다(Meada, 2001; Nam et al., 2015). 이는 담수화 된 논에서 백로류의 먹이로 이용되는 수서생물의 풍부도가 급격히 증가하기 때문에 일일 도래 개체수가 많은 것으로 판단된다(Sato and Maruyama, 1996; Lane and Fujioka, 1998; Richardson et al., 2001; Pierluissi, 2010). 5개의 서식지 유형들 사이에서도 백로류의 도래 개체수는 차이가 난다(Table 1). 높은 벼 밀도의 논, 낮은 벼 밀도의 논, 모내기한 논, 썩어질한 논, 물 댄 논 순으로 도래 개체수가 많은 것을 확인할 수 있었다(Fig. 3). 논은 농업인의 활동에 의해 물리적 환경이 급격히 바뀌는 공간이다(Nam et al., 2012). 물리적 환경의 변화로 인하여 논을 이용하는 조류의 먹이용가능성(food availability)이 변화되고 달라진 먹이용가능성은 백로류 종에 따라 다른 이용 빈도를 가진다(Nam et al., 2015). 백로류 도래 개체수가 많았던 서식지 유형인 높은 벼 밀도의 논은 경우 왜가리나 중대백로와 같이 몸 크기가 큰 종들에게는 벼의 밀생으로 인해 접근성의 제한으로 논에서 먹이용가능성이 급격히 낮아진다. 그에 반해 상대적으로 크기가 작은 황로나 중백로는 높은 벼 밀도의 논은 이용은 계속 유지된다(Ibáñez et al., 2010). 높은 벼 밀도의 논 유형이 형성되는 시기는 백로류의 이소가 진행되는 기간인 8월이었고(NIER, 2012), 실제 이 기간에 현장에서 주로 관찰되는 종은 황로 유조였다(personal observed). 또한 높은 벼 밀도의 논에서 몸집이 큰 백로류 종에 비해 황로의 경우 먹이 획득률이 감소하지 않는 것으로 알려져 있다(Richardson et al., 2001). 따라서 높은 벼 밀도의 논은 번식이 끝난 황로 유조가 먹이를 획득하기 위해 많은 개체수가 이용하는 것으로 판단된다.

백로류는 번식기에 논을 규칙적이며 집약적으로 이용한다(Fasola and Ruiz, 1996). 일부 지역에서는 백로류에게 자연습지보다 더 많은 양의 먹이와 취식공간을 제공한다고 알려져 있다(Fasola et al., 1996). 본 연구는 논에 도래하는 백로류의 개체군 변동에 미치는 여러 요인을 서로 다른 시간 스케일에서 살펴보았다. 이를 통해 논에 도래하는 백로류의 개체군 변동은 일 단위 시간 스케일과 월 단위 시간 스케일에서 서로 다른 요인들이 작용한다는 것을 확인할 수 있었다. 생태학적 현상은 시공간적 스케일에 따라 특정 요인에 대한 효과나 중요성이 다르다(Urban et al., 1987). 그러므로 여러 스케일에서 연구 대상의 생태학적 패턴, 현상, 중요한 특성이 어떻게 나타나는지 이해할 필요가 있다(Odum and Barrett, 2005).

#### 4. 결 론

본 연구는 논에 도래하는 백로류의 개체군 변동에 끼치는 요인을 다른 시간 스케일(월 단위와 일 단위)에 따라 확인하였다. 월 단위 시간 스케일에서는 시기, 평균온도, 평균 강수량이 개체군 변동에 중요한 요인이고, 일 단위 시간 스케일에서는 평균온도와 서식지 유형이 중요한 요인이었다. 월 단위에 비해 일 단위 시간 스케일이 백로류 개체군 변동

에 좀 더 직접적인 원인으로 작용하는 것으로 판단된다. 월 단위 시간 스케일에서는 전반적으로 백로류의 먹이원의 풍부도가 증가하는지에 따라 백로류의 월별 개체수가 변화하는 것으로 판단되고, 일 단위 시간 스케일에서는 직접적인 먹이 획득의 가능성에 따라 백로류의 일 별 개체수가 변화하는 것으로 판단된다. 이를 통해 논 의존도가 높은 백로류의 개체군 변동은 시간 스케일에 따라 조금씩 다른 특성이 나타나는 것을 확인할 수 있었다.

#### 사 사

자료 취합과 정리에 도움을 주신 국립농업과학원 기후변화생태과 농업생태연구실 홍혜경 연구원, 이영미 연구원, 이미선 연구원, 최재희 연구원, 심윤성 연구원, 성정모 연구원, 김남일 연구원께 감사드립니다. 본 연구는 국립농업과학원 농업과학기술 연구개발사업(과제번호: PJ01249003)의 지원에 의해 이루어졌습니다.

#### References

- Bambaradeniya, CN, Edirisinghe, JP, Silva, DN, Gunatilleke, CV, Ranawana, KB and Wijekoon, S (2004). Biodiversity associated with and irrigated rice agro-ecosystem in Sri Lanka, *Biodiversity & Conservation*, 13(9), pp. 1715–1753. <https://doi.org/10.1023/B:BIOC.0000029331.92656.de>
- Bechet, A, Giroux, JF and Gauthier, G (2004). The effects of disturbance on behaviour, habitat use and energy of spring staging snow gees, *J. Applied Ecology*, 41(4), pp. 689–700. <http://doi.org/10.1111/j.0021-8901.2004.00928.x>
- Bethke, RW and Nudds, TD (1995). Effects of climate change and land use on duck abundance in Canadian Prairie-parklands. *Ecological Applications*, 5(3), pp. 588–600. <https://doi.org/10.2307/1941969>
- Choi, YS, Kim, SS and Yoo, JC (2010). Feeding activity of cattle egrets and intermediate egrets at different stages of rice culture in Korea, *J. Ecology and Field Biology*, 33(2), pp. 149–155. <https://doi.org/10.5141/JEFB.2010.33.2.149>
- Choi, YS, Kim, SS and Yoo, JC (2014). Feeding efficiency of Great Egrets (*Ardea alba modesta*) in two different habitats, rice fields and a reservoir, during the breeding season, *Korean J. Ornithology*, 21(1), pp. 41–48. [Korean Literature]
- Crick HQ (2004). The impact of climate change on birds, *Ibis*, 146(1), pp. 48–56. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2004.00327.x>
- Day, JH and Colwell, MA (1998). Waterbird communities in rice fields subjected to different post-harvest treatments, *Colonial Waterbirds*, 21(2), pp. 185–197. <https://doi.org/10.2307/1521905>
- Eadie, JM, Elphick, CS, Reinecke, KJ and Miller, MR (2008).

- Wildlife values of North American ricelands The Rice Foundation, Stuttgart, Arkansas.
- Elphick C (2010). Why study birds in rice field?, *Waterbirds* 33(1), pp. 1–7.
- Elphick, CS and Oring, LW (2003). Conservation implications of flooding rice fields on winter waterbird communities, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 94(1), pp. 17–29. [http://doi.org/10.1016/S0167-8809\(02\)00022-1](http://doi.org/10.1016/S0167-8809(02)00022-1)
- Fasola, M and Ruiz, X (1996). The value of rice fields as substitutes for natural wetlands for waterbirds in the Mediterranean region, *Colonial Waterbirds*, 19(1), pp. 122–128. <https://doi.org/10.2307/1521955>
- Fasola, M and Ruiz, X (1997). Rice farming and waterbirds: integrated management in an artificial landscape. Academic Press, London, UK.
- Fasola, M, Canova, L and Saino, N (1996). Rice fields support a large portion of herons breeding in the Mediterranean region, *Colonial Waterbirds*, 19(1), pp. 129–134. <https://doi.org/10.2307/1521956>
- Fox, J. (1991). Regression diagnostics: An introduction (Vol. 79). Sage, Beverly Hills, CA.
- Froneman, A, Mangnall, MJ, Little, RM and Crowe, TM (2001). Waterbird assemblages and associated habitat characteristics of farm ponds in the Western Cape, South Africa, *Biodiversity and Conservation*, 10(2), pp. 251–270. <http://doi.org/10.1023/A:1008904421948>
- Fujioka, M and Yoshida, H (2001). The potential and problems of agricultural ecosystems for birds in Japan, *Global Environmental Research*, 5, pp. 151–161.
- Ibáñez, C, Curcó, A, Riera, X, Ripoll, I and Sánchez, C (2010). Influence on Birds of Rice Field Management Practices during the Growing Season: A Review and an Experiment, *Waterbirds*, 33(1), pp. 167–180. <https://doi.org/10.1675/063.033.s113>
- Kennish, MJ (2001). Coastal salt marsh systems in the US: a review of anthropogenic impacts, *J. Coastal Research*, 17(3), pp. 731–748.
- Kim, MH, Han, MS, Nam, HK, Kang, KK and Kim, MR (2012). Geological distribution of aquatic invertebrates living in paddy fields of South Korea. *Korean J. Soil Science and Fertilizer*, 45(6), pp. 1136–1142. [Korean Literature] <http://doi.org/10.7745/KJSSF.2012.45.6.1136>
- Lack, D (1968). Ecological adaptations for breeding in birds. Methuen, London.
- Lande, R, Engen, S and Sæther, BE (2003). Stochastic population dynamics in ecology and conservation. Oxford University Press, Oxford
- Lane, SJ and Fujioka, M (1998). The impact of changes in irrigation practices on the distribution of foraging egrets and herons (Ardeidae) in the rice fields of central Japan, *Biological Conservation*, 83(2), pp. 221–230. [https://doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00054-2](https://doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00054-2)
- Lourenço, PM and Piersma, T (2008). Stopover ecology of Black-tailed Godwits *Limosa limosa limosa* in Portuguese rice fields: a guide on where to feed in winter, *Bird study*, 55(2), pp. 194–202. <http://doi.org/10.1080/00063650809461522>
- Madsen, J (1998). Experimental refuges for migratory waterfowl in Danish wetlands. II. Tests of hunting disturbance effects, *J. Applied Ecology*, 35, pp. 398–417. <http://doi.org/10.1046/j.1365-2664.1998.00315.x>
- Maeda, T (2001). Patterns of bird abundance and habitat use in rice fields on the Kanto Plain, central Japan. *Ecological research*, 16(3), pp. 569–585. <https://doi.org/10.1046/j.1440-1703.2001.00418.x>
- McCulloch, MN, Tucker, GM and Baillies, SR (1992). The hunting of migratory birds in Europe: a ringing recovery analysis, *Ibis*, 134(1), pp. 55–65. <https://doi.org/10.1111/j.1474-919X.1992.tb04734.x>
- Nam, HK, Choi, SH, Choi, YS and Yoo, JC (2012). Patterns of waterbirds abundance and habitat use in rice fields. *Korean J. Environmental Agriculture*, 31(4), pp. 359–367. [Korean Literature] <https://doi.org/10.5338/KJEA.2012.31.4.359>
- Nam, HK, Choi, YS, Choi, SH and Yoo, JC (2015). Distribution of waterbirds in rice fields and their use of foraging habitats, *Waterbirds*, 32(2), pp. 173–183. <https://doi.org/10.1675/063.038.0206>
- National Institute of Environmental Research (NIER). (2012). Egrets and herons in Korea, NIER-GP2012-149, National Institute of Environmental Research. [Korean Literature]
- Newton, I (1998). Population limitation in birds. Academic, London
- Odum, EP and Barrett, GW (2005). Fundamentals of ecology. 5th. Belmont, CA: Thomson Brooks/Cole.
- Perrins, CM, Lebreton, JD and Hirons, GJ (1993). Bird population studies. Oxford University Press, Oxford
- Pickett, ST and White, PS (1985). The ecology of natural disturbance and patch dynamics. Academic Press, New York.
- Pienkowski, MW (1983). Surface activity of some intertidal invertebrates in relation to temperature and the foraging behaviour of their shorebird predators, *Marine ecology progress series*, 11(2), pp. 141–150.
- Pierluissi, S (2010). Breeding waterbirds in rice fields: a global review, *Waterbirds*, 33(Special Publication 1), pp. 123–132. <https://doi.org/10.1675/063.033.s109>
- R Development Core Team. 2017. R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at <http://www.R-project.org>. accessed 5 July 2018.
- Rehage, JS and Trexler, JC (2006). Assessing the net effect of

- anthropogenic disturbance on aquatic communities in wetlands: community structure relative to distance from canals, *Hydrobiologia*, 596(1), pp. 359–373. <http://doi.org/10.1007/s10750-006-0142-z>
- Richardson, AJ, Taylor, IR and Grouns, JE (2001). The foraging ecology of egrets in rice fields in Southern New South Wales, Australia, *Colonial Waterbirds*, 24(2), pp. 255–264. <https://doi.org/10.2307/1522039>
- Richardson, AJ, Taylor, IR and Grouns, JE (2001). The foraging ecology of egrets in rice fields in southern New South Wales, Australia, *Waterbirds*, 24(2), pp. 255–264. <https://doi.org/10.2307/1522039>
- Sánchez-Guzmán, JM, Moran, R, Masero, JA, Corbacho, C, Costillo, E, Villegas, A, Santiago-Quesada, F (2007). Identifying new buffer areas for conserving waterbirds in the Mediterranean basin: the importance of the rice fields in Extremadura, Spain, *Biodiversity and Conservation*, 16, 3333–3344. <https://doi.org/10.1007/s10531-006-9018-9>
- Sardà-Palomera, F, Bota, G, Viñolo, G, Pallarés, O, Sazatornil, V, Brotons, L, Gomáriz, S and Sardà, F (2012). Fine-scale bird monitoring from light unmanned aircraft systems, *Ibis*, 154(1), pp. 177–183. <http://doi.org/10.1111/j.1474-919X.2011.01177.X>
- Sato, N. and Maruyama, N (1996). Foraging site preference of intermediate egret *Egretta intermedia* during the breeding season in the eastern part of the Kanto Plain, *J. Yamashina Institute for Ornithology*, 28(1), pp. 19–34. <https://doi.org/10.3312/jyio1952.28.19>
- Shuford, WD, Humphrey, JM and Nur, N (2001). Breeding status of the Black Tern in California, *Western Birds*, 32(4), pp. 189–217.
- Tourenq, C, Bennets, RE, Kowalski, H, Vialet, E, Lucchesi, JL, Kayser, Y and Isenmann, P (2001). Are rice fields a good alternative to natural marshes for waterbird communities in the Camargue, southern France?, *Biological Conservation*, 100(3), pp. 335–343. [http://doi.org/10.1016/S0006-3207\(01\)00037-4](http://doi.org/10.1016/S0006-3207(01)00037-4)
- Tucker, GM and Heath, MF (1994). *Birds in Europe: their conservation status*. BirdLife International, Cambridge
- Turner, RK, Van den Berg, JC, Söderqvist, T, Barendregt A, Van den Straaten, J, Maltby, E, and Van Ierland, EC (2000). Ecological-economic analysis of wetlands: scientific integration for management and policy, *Ecological Economics*, 35(1), pp. 7–23. [http://doi.org/10.1016/S0921-8009\(00\)00164-6](http://doi.org/10.1016/S0921-8009(00)00164-6)
- Urban, DL, O'Neil, RV and Shugart, HH (1987). Landscape ecology, *BioScience*, 37(2), pp. 119–127. <https://doi.org/10.2307/1310366>
- Viljugrein, H, Stenseth, NC, Smith, GW and Steinbakk, GH (2005). Density dependence in North American ducks, *Ecology*, 86(1), pp. 245–254. <https://doi.org/10.1890/04-0467>